반복적 소방활동이 신체에 미치는 영향 Effects of Repetitive Firefighting on Human Body

방창훈*

Bang, Chang-Hoon*

Abstract

The aim of study intends to investigate the effects of repetitive firefighting on human body and to provide the basic data for the safety of firefighter. The results of the study are as follows; On two separate occasions under ambient temperature WBGT 20°C (Globe Temperature 27.2°C, dry bulb temperature of 26.2°C, relative humidity 26.7%), nine firefighting majoring students (n=9; age 24.3±0.71) completed two 15 min treadmill walking (Ex1, Ex2) 9 METs (6 km/h, 10%) separated by a 15 min recovery period (Rest), during which students were either wearing firefighting protective equipment or wearing shorts (control). After experiments, mean skin temperature change (214.0%), tympanic temperature change (175%), heart rate (20.5%), respiration rate (14.2%), RPE (50.0%), thermal Sensation (12.0%), weight loss (60.0%) are statistically significantly higher in the case of wearing firefighting protective equipment. It is concluded that physiological responses of human body varied considerably and reflected by repetitive fire fighting.

Key words : Repetitive firefighting, Firefighting protective equipment

요 지

본 연구는 반복적 소방활동이 신체에 미치는 영향을 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다. 실험온도 WBGT 20°C (흑구온도 27.2°C, 건구온도 26.2°C, 습도 26.7%)에서 작업강도 9 METs (6 km/h, 10%)로 실험 15분 (Ex1), 휴식 15분 (Rest), 실험 15분 (Ex2)의 순으로 소방전공 대학생 (9명; 24.3±0.71세)을 대상으로 반바지와 소방용 보호장구를 착용한 경우의 비교실험을 수행하였다. 실험결과, 소방용 보호장구를 착용한 경우에서 평균피부온도차 (214.0%), 고막온도차 (175%), 심박수 (20.5%), 호흡수 (14.2%), 운동자각도 (50.0%), 온냉감 (12.0%)과 체중감소 (60.0%)가 통계적으로 유의하게 높게 나타났으며, 반복적 소방활동이 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 연구되었다.

핵심용어 : 반복적 소방활동, 소방용 보호장구

1. 서 론

화재현장은 가연물의 종류, 건축물의 구조 및 위치, 발생시간 등 주위 환경에 따른 불확실성이 매우 높아서 이를 진압하는 소방공무원의 작업형태는 연속적인 일련의 작업보다는 상황에 따른 반복작업이 대부분을 이룬다.

반복작업의 특징은 인체의 한 부분의 근육긴장이나 관절, 인대조직이 고르게 이용되지 않고 일부분만이 계속해서 반복 사용 되기 때문에 상대적으로 이용되지 않는 조직들이 약화되는 반면 반복 사용되는 근육은 피로하거나 지나치게 강화되어 근육의 불균형을 이루게 된다. 또한 반복작업은 정신적으로 쉽게 피로하게 되어 주위 환경에 적응하는데 문제가 발

생한다 (Song, 2006).

화재진압, 인명구조와 같은 중작업 (Heavy work)의 소방활동을 수행하는 소방공무원은 오랜 시간을 두고 반복적인 작업이 누적되어 질병이 유발할 우려가 있으며, 한국산업안전공단에서는 반복작업으로 인한 질환의 발생원인을 작업시간과 휴식부족, 작업기술 미숙, 보호장비 결여, 작업환경 불량, 작업자세와 신체적 결함, 심리적 불안정상태로 정의하고 있다 (KOSHA, 1998).

화재진압시의 소방작업은 고온환경하에서 소방용 보호장구를 착용하고 소방호스 등의 도구를 사용하여 빠른 시간내에 작업을 수행하며 이 과정에서 많은 에너지를 소모하고 피로감은 증가한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 적절한 교대

*교신저자. 정회원. 경남대학교 소방방재공학과 부교수 (Tel: +82-55-249-2657 Fax: +82-505-9999-2166, E-mail: bangch@kyungnam.ac.kr)
Corresponding Author: Member, Professor, Department of Fire and Disaster Prevention Engineering, Kyungnam University

작업 또는 휴식시간이 필요로 한다.

다수의 연구자들에 의하여 소방활동시 서열부담 경감과 피로회복에 대하여 연구를 진행하였으며, 반복작업이 진행될수록 체온과 심박수 등이 상승하여 신체에 미치는 영향은 증가하고 있음을 보고하였다(Barr, 2009; Ilmainen *et al.*, 1997, 2004).

최근 국내에서도 노동부에서 고온환경하에서의 근로자의 작업시간과 휴식시간에 관한 기준을 제정하였으나(MOEL, 2011), 소방공무원에 대한 작업시간과 휴식시간에 대한 작업안전기준은 아직 마련되어 있지 않으며, 신체에 미치는 영향에 대한 체계적이고 과학적인 실험을 통한 연구는 거의 전무한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 반복적 소방활동이 신체에 미치는 영향을 분석하여 소방공무원의 안전을 위한 기초자료 제공을 목적으로 한다.

연구내용 및 방법

2.1 연구대상

본 연구의 대상은 경남 K대학교 재학 중이며, 근골격계 질환이 없는 소방공무원을 희망하는 건강한 남학생 9명을 대상으로 본 연구의 취지를 밝히고, 실험에 자발적으로 동의한 학생들을 피실험자로 선정하였으며, 연구 참여에 앞서 본 연구에 대한 충분한 설명과 측정절차에 따르게 주의 사항을 알려주었다. 연구 대상자의 신체적 특성은 Table 1과 같다.

Table 1. Characteristics of the Subjects(n=9)

Age(yr)	Height(cm)	Weight(Kg)
24.3±0.71	177.6±7.38	71.8±7.09

2.2 연구방법

본 실험에서는 반복적 소방활동에 따른 신체 영향을 연구하기 위하여 소방활동을 단순화 하였으며, 소방용 보호장구인 소방방화복과 공기호흡기를 착용하고 트레드밀에서 걷는 것으로 가정하였다(Barr, 2009; Ilmainen *et al.*, 1997, 2004). 또한 소방활동과의 비교를 위하여 반바지를 입은 경우와 소방용 보호장구인 소방방화복과 공기호흡기를 착용한 경우를 구분하여 실험하였으며 면체는 착용하지 않았다. 실험에 사용한 소방용 보호장구의 무게는 18.8 Kg이며, 실험은 1주간의 여유를 두고 실시하였다.

피실험자는 실험준비실에서 체중 측정, 온도 측정용 센서를 장착하고 소방용 보호장구를 착용한 후 10분정도 안정시킨 다음 실험실로 입장 후 실험을 실시하였으며, 실험주기는 15분간 실험자에게 트레드밀을 사용하여 작업강도 9 METs (6 km/h, 10%)로 운동부하검사를 실시한 후 15분간 소방방화복의 상의를 탈의하고 휴식을 취하고 나서 다시 15분간 동일

작업강도로 15분 동안 반복 실시하였다.

온도조건은 WBGT(Wet Bulb Globe Temperature Index)를 사용하여 WBGT 20°C(흑구온도 27.2°C, 건구온도 26.2°C, 습도 26.7%)로 설정하여 주위 온도에 의한 영향을 최소화하였다. WBGT는 Yaglou 등에 의하여 고온 환경을 평가하는 온열 지표로 제안되었으며(Yaglou *et al.*, 1950), 근로자들의 열환경 적합성 여부를 판정하는 지표로 ISO, NIOSH, ACGIH 등에서 추천하고 있다(ISO, 2003; NIOSH, 1986; ACGIH, 1996).

실험자의 수분상태를 표준화하기 위하여 실험 1시간 전에 250 mL의 물을 섭취하게 하였으며, 15분간의 휴식시간에 250 mL의 물을 추가적으로 섭취하게 하였으며, 실험종료 후에는 땀을 잘 닦은 후 체중을 측정하여 순수 체중 감소량을 측정하였다.

피부는 신체의 내·외부 열교환이 일어나는 장소이며, 평균 피부온도는 신체의 열적상태를 파악하는데 매우 중요한 지표이다. 평균피부온도(Mean skin temperature)는 ISO 9886에 따른 4점 측정법을 이용하였으며(ISO, 2004), 평균피부온도는 서모스탯을 이용하여 측정하였으며 데이터처리장치를 이용하였다.

심부온도 측정을 위해서는 직장(Rectum), 귀(Tympanic membrane), 식도(Esophagus)의 온도를 측정한다(Newsham *et al.*, 2002). Ericdon 등은 고막온도가 체온조절증추가 있는 뇌의 시상하부 온도를 가장 정확하게 나타낼 수 있다고 보고하였으며(Ericdon *et al.*, 1994), 이에 본 연구에서는 직장온도보다 빠른 반응변화를 보이는 고막온도가 직장온도보다 정확하게 반영할 수 있는 지표로 판단되어 고막온도를 심부온도로 측정하였다. 고막온도(Tympanic temperature)는 고막체온계를 이용하여 측정하였다.

심박수(Heart rate)와 호흡수(Respiration rate)는 심박호흡 측정센서를 가슴에 부착하고 소방용 보호장구를 착용하였으며 무선으로 데이터를 전송하여 컴퓨터에서 처리하였다.

온냉감(Thermal sensation)은 실험자가 느끼는 온도로 “참을 수 없을 만큼 춥다”를 0으로 하고 “매우 덥다”를 7로 정하여 측정하였다(ASHRAE, 1992).

운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion)는 운동내성을 관찰하는 신뢰할 만한 지표이며 체력수준, 환경수준, 일반적인 피로수준에 영향을 받으며, 피로가 임박함을 예측할 수 있는 지표로 이용되며, 범위의 척도는 0에서 10까지로 하고, 일반적으로 0은 “매우매우 가볍다”이며 대부분 외관상 건강한 사람들의 피로 한계는 “매우매우 힘들다”의 10까지이다(ACSM, 2006).

평균피부온도, 심박수, 호흡수, 온냉감 및 운동자각도는 운동시작 후 매 5분마다 측정하였다.

2.3 자료분석

자료의 처리는 SPSS 14.0을 이용하여 평균(M)과 표준편차

(S.D)를 산출하였다. 최대 신체활동 전, 후의 체력검사는 paired t-test로 비교하였으며, 유의도는 $P<0.05$ 로 설정 하였다.

3. 결과 및 분석

Fig. 1에 반바지(Shorts)와 소방용 보호장구(SCBA) 착용시의 반복작업에 따른 평균피부온도(Mean skin temperature)를 나타내었다.

평균피부온도는 전체적으로 소방용 보호장구를 착용한 경우가 높게 나타나고 있으며, 처음 실험 15분 동안(Ex1) 반바지의 경우는 1.2°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 2.8°C 상승하였다. 또한 15분간의 휴식기간(Rest)에는 반바지의 경우는 1.3°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 2.0°C 내려갔으며, 반바지의 경우는 실험초기와 거의 변동이 없었으나 소방용 보호장구를 착용한 경우는 약 0.8°C 상승하였다. 두 번째 실험기간동안(Ex2)에는 반바지의 경우는 0.8°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 1.8°C 상승하여 첫 번째 실험시보다는 온도상승폭이 작게 나타났다. 전체 실험기간 45분 동안에는 반바지의 경우는 0.7°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 2.6°C 평균피부온도가 상승하였으며 이러한 결과는 이전 연구자들의 연구결과와 유사하다(Carter, 1999; Barr, 2009).

첫 번째 실험기간동안 소방용 보호장구를 착용한 경우의 온도상승이 높게 나타나는 것은 소방용 보호장구의 무거운 무게로 인하여 신체에 과중한 에너지소비를 초래하고 이는 신진 대사열을 발생시켜 나타나는 현상이다. 두 번째 실험기간의 온도상승이 조금 낮게 나타나는 것은 체온상승에 따라 피부에서 땀이 배출되고 증발하여 피부온도를 저감시키기 때문이다.

상온에서 15분간의 휴식만으로도 신체의 평균피부온도는 상당히 내려가며 이는 소방공무원 신체의 열적평형성 유지에 많은 도움이 됨을 알 수 있다. 하지만 Ilmainen 등은 고온에서 작업하는 경우에는 15분간의 휴식은 신체의 열적스트레스를 줄이는데 부족하다고 보고하였으며 이러한 차이는 본 연구의 실험온도(건구온도 26.2°C)와 Ilmainen 등의 실험(건구온도

Fig. 1. Time Courses of Mean Skin Temperature.

Fig. 2. Time Courses of Tympanic Temperature.

50°C)조건 즉 외부온도 차이의 영향으로 판단된다(Ilmainen *et al.*, 1997, 2004).

Fig. 2에는 반바지와 소방용 보호장구 착용시의 반복작업에 따른 고막온도(tympanic temperature) 변화를 나타내었다.

고막온도는 처음 실험 15분 동안(Ex1) 반바지의 경우는 0.6°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 0.9°C 상승하여 반바지의 경우보다 약 50% 높게 나타났다. 또한 15분간의 휴식기간(Rest)에는 반바지의 경우는 0.4°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 0.7°C 낮게 나타났다. 두 번째 실험기간동안(Ex2)에는 반바지의 경우는 0.2°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우는 1.0°C 상승하여 반바지의 경우는 온도상승이 작게 나타났다. 전체 실험기간 45분 동안 고막온도는 반바지의 경우 0.4°C , 소방용 보호장구를 착용한 경우 1.2°C 상승하였다. 본 연구의 온도경향은 이전 연구자의 결과와 유사하다(Barr, 2009).

일반적으로 체온은 심부온도를 의미하며 심부온도를 통해 개인의 건강상태와 질병의 유무 및 회복상태의 진행정도를 분석할 수 있다(Kozier *et al.*, 1991). 따라서 신체의 열적평형성 유지를 위하여 여러 가지 방법을 이용하며 수동적 냉각방법으로는 휴식시간을 길게 하는 방법과 적극적 냉각방법으로는 손과 발을 냉각수에 담구거나(Selkirk, 2004; Carter, 2007), 얼음조끼를 착용하여 체온의 상승을 억제하기도 한다(Bennett, 1995; Smolander, 2004).

Figs. 3, 4에 심박수(Heart rate)와 호흡수(Respiration rate) 변화를 나타내었다.

심박수는 실험 15분 동안(Ex1) 반바지의 경우는 53.8 beats/min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 80.4 beats/min으로 높게 나타났다. 또한 15분간의 휴식기간(Rest)에는 반바지의 경우는 55.1 beats/min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 71.7 beats/min으로 낮게 나타났다. 두 번째 실험기간동안(Ex2)에는 반바지의 경우는 62.4 beats/min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 79.3 beats/min으로 상승하였다.

호흡수는 실험 15분 동안(Ex1) 반바지의 경우는 19.9 beats/

Fig. 3. Time Courses of Heart Rate.

Fig. 5. Time Courses of Thermal Sensation.

Fig. 4. Time Courses of Respiration Rate.

Fig. 6. Time Courses of RPE.

min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 20.9 beats/min 상승하여 높게 나타났다. 또한 15분간의 휴식기간(Rest)에는 반바지의 경우는 18.8 beats/min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 18.7 beats/min 으로 낮게 나타났다. 두 번째 실험기간동안(Ex2)에는 반바지의 경우는 18.5 beats/min, 소방용 보호장구를 착용한 경우는 21.9 beats/min으로 상승하였다.

심폐계의 주요 기능은 신체에 필요한 산소를 공급하고 신체 조직으로부터 노폐물을 제거하는 것이다. 실험시작과 동시에 신체는 근육이 요구하는 산소량이 증가하며 작업의 강도가 증가함에 따라 더 많은 산소를 소모하게 된다. 따라서 소방용 보호장구를 착용한 경우 심박수와 호흡수가 반바지의 경우보다 높게 나타난다.

온냉감(Thermal sensation)과 운동자각도(RPE, Rating of Perceived Exertion) 변화를 Figs. 5, 6에 나타내었다. 온냉감과 운동자각도는 주관적으로 느껴지는 정도를 나타낼 수 있으며, 이러한 느낌은 신체적 스트레스, 체력수준, 환경조건 등에 영향을 받는다(ACSM, 2006).

소방용 보호장구를 착용하고 수행하는 소방활동은 신체적으로 많은 부담이 되며 신체적인 피로의 자각도가 시간이 지남에 따라 증가하게 된다. Richard 등의 연구에서 표준형 소방방화복과 신형 방화복을 착용 경우에 대하여 18분 정도 실험한 결과 운동자각도는 방화복간의 차이는 거의 없었으며,

시간이 주요한 변수라고 보고하였다(Richard *et al.*, 2008). 따라서 소방공무원의 안전을 위한 작업시간에 대한 보다 자세한 연구가 필요하다고 사료된다.

실험기간 동안에 피실험자들이 주관적으로 느끼는 열적상황과 신체적 부담감인 온냉감과 운동자각도는 상기 기술한 객관적인 지표인 평균피부온도, 고막온도, 심박수, 호흡수와 유사한 경향을 나타내었다.

소방공무원의 직무 특성상 단시간 내에 높은 강도로 작업하여야 할 경우가 빈번하며 이러한 상황에서 잠시간의 휴식은 신체에 미치는 영향을 감소시켜 사고예방에 도움이 될 것으로 판단된다. 하지만 소방공무원의 재난현장 표준작전절차에서는 이러한 기준이 마련되어 있지 않으며, 향후 이에 대한 대비가 필요할 것으로 사료된다.

Table 2에 시기별 신체지수 변화율을 나타내었다.

평균피부온도는 첫 번째 실험(Ex1) 15분 동안 소방용 보호장구를 착용한 경우 8.7% 상승하였으며, 이후 15분간의 휴식기간(Rest)에는 2% 낮아지고, 두 번째 실험(Ex2)에서는 1.8% 다시 상승하였다. 그리고 고막온도 또한 유사한 결과가 나타났다. 이러한 결과 휴식시간 15분이 정상체온으로 돌아오는 데 부족한 것을 의미하며 보다 충분한 시간이 필요한 것으로 판단된다. 심박수와 호흡수에서도 첫 번째 실험(Ex1) 15분 동안 소방용 보호장구를 착용한 경우의 상승이 높게 나타나며,

Table 2. Physical Responses Change Rate by Time

Time	Ex1($T_{15min}-T_{0min}$), (%)		Rest($T_{30min}-T_{15min}$), (%)		Ex2($T_{45min}-T_{30min}$), (%)	
Condition	Shorts	SCBA	Shorts	SCBA	Shorts	SCBA
Mean skin temperature(°C)	3.8	8.7	-1.3	-2.0	0.8	1.8
Tympanic temperature change(°C)	1.6	2.5	-0.9	-1.8	0.6	2.6
Heart Rate(beats/min)	62.4	90.2	-39.4	-42.2	73.6	80.9
Respiration Rate(beats/min)	126.0	133.2	-52.8	-51.0	110.3	121.8
RPE	65.0	134.0	-33.3	-55.8	72.7	150.0
Thermal Sensation	50.0	77.8	-33.3	-46.1	70.8	87.0

Table 3. Physical Responses on 45 min after Experiment

Variables	Condition	n	M±SD	df	t	p
Mean skin temperature change ($T_{45min}-T_{0min}$, °C)	Shorts	9	0.7±0.55	16	-6.306	.000
	SCBA	9	2.2±0.41			
Tympanic temperature change ($T_{45min}-T_{0min}$, °C)	Shorts	9	0.4±0.39	16	-3.063	.007
	SCBA	9	1.1±0.53			
Heart rate (beats/min)	Shorts	9	147.1±17.88	16	-4.098	.001
	SCBA	9	177.3±12.90			
Respiration rate (beats/min)	Shorts	9	35.3±6.36	16	-2.167	.046
	SCBA	9	40.3±2.42			
RPE	Shorts	9	4.8±1.30	16	-4.269	.001
	SCBA	9	7.2±1.11			
Thermal sensation	Shorts	9	5.0±0.50	16	-2.492	.024
	SCBA	9	5.6±0.49			
Weight loss (kg)	Shorts	9	0.5±0.25	16	-3.063	.008
	SCBA	9	0.8±0.17			

두 번째 실험(Ex2)에서는 상승률이 작게 나타나나 정량적 수치는 보다 높다. 이는 휴식시간 동안에 초기로 회복하지 못하기 나타나는 현상이다. 온냉감과 운동자각도 또한 두 번째 실험에서 피실험자들이 더 많이 느끼는 것으로 사료된다. 전체적으로 살펴보면 각 시기별로 차이가 발생하며 첫 번째 실험(Ex1)보다는 두 번째 실험(Ex2)에서 피실험자들이 더 힘들어함을 알 수 있다.

Table 3에 평균피부온도차, 고막온도차, 심박수, 호흡수, 운동자각도, 온냉감, 체중감소의 신체지수 변화를 나타내었다.

실험 전후의 평균피부온도차는 반바지의 경우 0.7°C, 소방용 보호장구를 착용한 경우의 2.2°C를 나타내어 약 214% 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였으며, 고막온도차는 반바지의 경우 0.4°C, 소방용 보호장구를 착용한 경우 1.1°C를 나타내어 통계적으로 유의하게 약 175% 높게 나타났다($p<.05$).

심박수와 호흡수는 반바지의 경우 각각 분당 147.1회 35.3회, 소방용 보호장구를 착용한 경우 각각 분당 177.3회 40.3회로 작업강도가 경우가 통계적으로 유의하게 약 20.5%와 14.2% 높게 나타났다($p<.05$).

운동자각도와 온냉감은 반바지의 경우에서 소방용 보호장

구를 착용한 경우로 작업강도가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 약 50.0%, 12.0% 높게 나타났다($p<.05$).

체중감소는 반바지의 경우 0.5 kg, 소방용 보호장구를 착용한 경우 0.8 kg을 나타내었으며, 통계적으로 유의하게 약 60% 높게 나타났다($p<.05$).

이상의 실험 결과 소방용 보호장구의 착용시 주기적 반복작업이 신체에 많은 영향을 미치고 있으며, 작업강도와 작업시간에 따른 휴식시간의 조정이 필요할 것으로 판단된다.

결론

본 연구에서는 반복적 소방활동이 신체에 미치는 영향을 분석하여 다음과 같은 결론을 구하였다.

첫째, 평균피부온도차는 반바지의 경우 0.7°C, 소방용 보호장구를 착용한 경우의 2.2°C를 나타내어 약 214% 높게 나타났으며 통계적으로 유의하였으며, 고막온도차는 반바지의 경우 0.4°C, 소방용 보호장구를 착용한 경우 1.1°C를 나타내어 통계적으로 유의하게 약 175% 높게 나타났다($p<.05$).

둘째, 심박수와 호흡수는 반바지의 경우 각각 분당 147.1회

35.3회, 소방용 보호장구를 착용한 경우 각각 분당 177.3회 40.3회로 작업강도가 경우가 통계적으로 유의하게 약 20.5%와 14.2% 높게 나타났다($p<.05$).

셋째, 운동자각도와 온냉감은 반바지의 경우에서 소방용 보호장구를 착용한 경우로 작업강도가 증가함에 따라 통계적으로 유의하게 약 50.0%, 12.0% 높게 나타났다($p<.05$).

넷째, 체중감소는 반바지의 경우 0.5 kg, 소방용 보호장구를 착용한 경우 0.8 kg을 나타내었으며, 통계적으로 유의하게 약 60% 높게 나타났다($p<.05$).

이상의 결과 반복적 소방활동은 신체에 많은 영향을 미치는 것으로 연구되었으며, 소방공무원의 소방활동에 따른 반복작업의 주기와 작업시간과 휴식시간의 비율에 대한 자세한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

본 연구의 제한점으로 연구대상자가 소방전공 학생들로 한정되어 결과를 확대해석하여 일반화 하는 것은 한계가 있다.

References

- ACGIH (1996) Threshold Limit Values for chemical substances and physical agents. Biological Exposure Indices, American Conference of Governmental Industrial Hygienists, Cincinnati, OH.
- ACSM (2006) ACSM Guidelines for exercise testing and prescription seventh edition, Lippincott Williams & Wilkins.
- ASHRAE (1992) Standard 55 — thermal environmental conditions for human occupancy, ASHRAE Inc.
- Barr, D., Gregson, W., Sutton, L. and Reilly, T. (2009) A practical cooling strategy for reducing the physiological strain associated with firefighting activity in the heat. *Ergonomics*, Vol. 52, No. 4, pp. 413-420.
- Bennett, B.L., et al. (1995) Comparison of two cooling vests on heat strain while wearing a firefighting ensemble. *European Journal of Applied Physiology*, Vol. 70, No. 4, pp. 322-328.
- Carter, J.B., Banister, E.W. and Morrison, J.B. (1999) Effectiveness of Rest pauses and cooling in alleviation of heat stress during simulated firefighting activity, *Ergonomics* Vol. 42, No. 2, pp. 299-313.
- Carter, J.M., et al. (2007) Strategies to combat heat strain during and after firefighting. *Journal of Thermal Biology*, Vol. 32, No. 2, pp. 109-116.
- Ericdon, R. and Woo, T. (1994) Accuracy of infrared ear thermometry and traditional temperature methods in young children, Heart & lung: *Journal of Critical Care*, Vol. 23, No. 3, pp. 181-195.
- Ilmarinen, R., et al. (1997) Thermal responses to consecutive strenuous fire-fighting and rescue tasks in the heat. *Environmental physiology, recent progress and new frontiers*. London: Freund Publishing, pp. 295-298.
- Ilmarinen, R., et al. (2004) Physiological evaluation of chemical protective suit systems (CPSS) in hot conditions. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 10, No. 3, pp. 215-226.
- ISO (2003) Hot Environments-Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index. Geneva: International Standards Organization.
- ISO (2004) Ergonomics-Evaluation of thermal strain by physiological measurements Second edition, International Standard Organization, pp. 1-21.
- KOSHA (1998) CTDs causes, CTDs prevention guidelines.
- Kozier, B., Erd, G., and Oliveri, R. (1991) Fundamentals of nursing: concept, process, practice(4th ed), California: Addison-wesley Nursing.
- MOEL (2011) Exposure guide line of chemical and physical factors, Notification No. 2011-13 of the Ministry of Employment and Labor.
- Newsham, K., Saunders, J. E., and Nordin, E. S. (2002) Comparison of rectal and tympanic thermometry during exercise, *The Southern Medical Journal*, Vol. 95, No. 8, pp. 804-810.
- NIOSH (1986) Working in hot environments, Preparing for the heat, NIOSH pp. 86-112.
- Richard L.J., et al. (2008) Firefighter fatalities and injuries : The role of heat stress and PPE, Illinois Fire Service Institute.
- Selkirk, G.A., McLellan, T., and Wong, J. (2004) Active versus passive cooling during work in warm environments while wearing firefighter's protective clothing. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Vol. 1, No. 8, pp. 521-531.
- Song J.H. (2006) The Study of Recovery Time for Muscle Fatigue following Simple Repetitive Works, master's thesis, Daegu university graduate school.
- Smolander, J., et al. (2004) Effectiveness of a light-weight ice-vest for body cooling while wearing firefighters protective clothing in the heat. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, Vol. 10, No. 2, pp. 111-117.
- Yaglou CP, Baetjer AM, Machle W, McConnell WJ, Shaudy LA, Winslow C-EA, et al. (1950) Thermal standards in industry, *Am J Publ Health*, Vol. 40, pp. 131-143.

Received	February 25, 2014
Revised	February 27, 2014
Accepted	March 10, 2014